

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2008-503072

(P2008-503072A)

(43) 公表日 平成20年1月31日(2008.1.31)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)  
**H O 1 L 33/00 (2006.01)** H O 1 L 33/00 A 5 F O 4 1

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 16 頁)

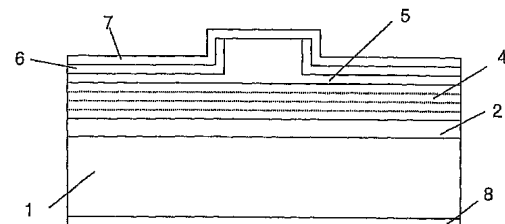
(21) 出願番号	特願2007-515758 (P2007-515758)	(71) 出願人	506250675 エグザロス・アクチェンゲゼルシャフト EXALOS AG スイス、ツェー・ハー－8005 チュー リッヒ、テクノパークシュトラッセ、1
(86) (22) 出願日	平成17年6月10日 (2005. 6. 10)	(74) 代理人	100064746 弁理士 深見 久郎
(85) 翻訳文提出日	平成19年2月8日 (2007. 2. 8)	(74) 代理人	100085132 弁理士 森田 俊雄
(86) 国際出願番号	PCT/CH2005/000323	(74) 代理人	100083703 弁理士 仲村 義平
(87) 国際公開番号	W02005/124876	(74) 代理人	100096781 弁理士 堀井 豊
(87) 国際公開日	平成17年12月29日 (2005. 12. 29)	(74) 代理人	100098316 弁理士 野田 久登
(31) 優先権主張番号	10/869, 616		
(32) 優先日	平成16年6月16日 (2004. 6. 16)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 広帯域発光装置

## (57) 【要約】

本発明は、PN接合を形成する半導体ヘテロ構造と導波路とを備えた超発光ダイオード(SLED)に関する。半導体ヘテロ構造は、ゲイン領域であって、その活性ゾーンからの誘導放出を含む光放出を発生させるようにPN接合にバイアスをかけるコンタクト手段を備えたゲイン領域、および活性ゾーン内に、それぞれが複数の量子ドットよりなる複数の量子ドット層と、それぞれが量子ドット層の1つに隣接する複数の隣接層とを備えている。少なくとも2つの隣接層の材料組成または堆積パラメータが異なる。これにより放出スペクトル幅が確実に向上する。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

P N 接合を形成する半導体ヘテロ構造を備えたエレクトロルミネセント発光装置であって、

前記半導体ヘテロ構造は、ゲイン領域であって、その活性ゾーンからの誘導放出を含む光放出を発生させるように前記 P N 接合にバイアスをかけるコンタクト手段を備えたゲイン領域を含み、

前記半導体ヘテロ構造は、前記活性ゾーン内に、それぞれが複数の量子ドットを含む複数の量子ドット層、および

それぞれが前記量子ドット層の 1 つに隣接する複数の隣接層を備えており、  
少なくとも 2 つの隣接層の材料組成または堆積パラメータが異なる、装置。

10

## 【請求項 2】

前記複数の隣接層の隣接層材料はある材料系に属し、その材料組成は少なくとも 1 つのパラメータを含むパラメータ群によって記述され得、また前記パラメータ群のうちの少なくとも 1 つのパラメータは隣接層間で異なる、請求項 1 に記載の装置。

## 【請求項 3】

前記材料系は元素 I n、G a および A s の 3 元系であり、前記隣接層材料は  $I n_x G a_{1-x} A s$  であって、 $x$  は前記少なくとも 1 つのパラメータであり、また前記量子ドット層は I n A s 層である、請求項 2 に記載の装置。

## 【請求項 4】

前記量子ドット層は I n A s 層、 $I n_x G a_{1-x} A s$  層、 $I n_x A l_{1-x} A s$  層、 $I n_x G a_{1-x} N$  層または  $S i_x G e_{1-x}$  層である、請求項 2 に記載の装置。

20

## 【請求項 5】

少なくとも 2 つの隣接層は層厚さが異なりかつ同じ材料から形成される、請求項 1 に記載の装置。

## 【請求項 6】

最も低い量子状態を飽和させるのに十分高い電流を注入してこれによりドット内のそれぞれ異なる量子状態からの放出を生じさせる電流注入手段を備えた、請求項 1 に記載の装置。

## 【請求項 7】

前記ヘテロ構造は強い屈折率ガイド型導波路を形成し、その内部へ前記活性ゾーンで生成された光が放出される、請求項 1 に記載の装置。

30

## 【請求項 8】

前記ヘテロ構造は弱い屈折率ガイド型導波路を形成し、その内部へ前記活性ゾーンで生成された光が放出される、請求項 1 に記載の装置。

## 【請求項 9】

前記ヘテロ構造はゲインガイド型導波路を形成し、その内部へ前記活性ゾーンで生成された光が放出される、請求項 1 に記載の装置。

## 【請求項 10】

前記活性ゾーンは、複数のバリア層をもつ積層構造を備え、前記バリア層の対のそれぞれが 1 つの量子ドット層と 1 つの隣接層とを挟む、請求項 1 に記載の装置。

40

## 【請求項 11】

前記半導体ヘテロ構造は、第 1 のクラッド層と第 2 のクラッド層とを備え、前記積層構造は前記第 1 のクラッド層と前記第 2 のクラッド層との間に位置し、前記第 1 のクラッド層は第 1 の金属電極と電氣的に接触し、前記第 2 のクラッド層は第 2 の金属電極と電氣的に接触する、請求項 9 に記載の装置。

## 【請求項 12】

非レージング超発光ダイオードである、請求項 1 に記載の装置。

## 【請求項 13】

半導体光増幅器である、請求項 1 に記載の装置。

50

## 【請求項 14】

外部共振器半導体レーザであり、レーザ空洞共振器を画定する複数の反射素子をさらに備えており、前記半導体ヘテロ構造は、前記レーザ空洞共振器内に配置され前記レーザのゲイン素子として働く、請求項 1 に記載の装置。

## 【請求項 15】

半導体ヘテロ構造を備えたエレクトロルミネセント発光装置であって、前記半導体ヘテロ構造は、基板上に、第 1 のクラッド層および第 2 のクラッド層と、前記第 1 のクラッド層および第 2 のクラッド層の間に配置される発光アレンジメントとを含み、前記発光アレンジメントは、電流が注入されると電磁放射を光線経路へと放出し、前記発光アレンジメントは、複数の量子ドット層を備えた積層体を含み、各量子ドット層はバリア層とキャップ層とによって挟まれ、前記キャップ層のうちの少なくとも 2 つは異なる材料よりなる、装置。

10

## 【請求項 16】

前記量子ドット層は  $\text{InAs}$  層であり、前記キャップ層は  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  層であって、 $x$  は  $0 < x < 1$  を満たすパラメータであり、かつ少なくとも 2 つのキャップ層の  $x$  値は異なる、請求項 11 に記載の装置。

## 【請求項 17】

半導体ヘテロ構造を備えた非レージング超発光ダイオードであって、前記半導体ヘテロ構造は、基板上に、第 1 のクラッド層および第 2 のクラッド層と、前記第 1 のクラッド層および第 2 のクラッド層の間に配置される発光アレンジメントとを含み、前記発光アレンジメントは、電流が注入されると電磁放射を前記ヘテロ構造によって形成される導波路へと放出し、前記発光アレンジメントは、複数の量子ドット層を備えた積層体を含み、各量子ドット層はバリア層とキャップ層とによって挟まれ、前記キャップ層のうちの少なくとも 2 つは異なる材料よりなるかまたは異なる厚さを有する、ダイオード。

20

## 【請求項 18】

前記導波路は、前記導波路を長さ方向に制限する 2 つの端面を備え、前記端面は長さ方向に対して垂直である、請求項 13 に記載の超発光ダイオード。

## 【請求項 19】

吸収領域を備え、前記吸収領域内には前記 PN 接合がバイアスがないように配線されている、請求項 13 に記載の超発光ダイオード。

30

## 【請求項 20】

半導体ヘテロ構造接合と導波路とを備えたエレクトロルミネセント発光装置を製造する方法であって、基板を提供するステップと、前記基板上に半導体ヘテロ構造および導波路構造の層を製造するステップと、前記半導体ヘテロ構造によって作られる前記半導体ヘテロ構造接合にバイアスをかけるための電極コンタクトを提供するステップとを備え、前記半導体ヘテロ構造を製造するステップは、バリア層を製造するステップと、その上に自己集合半導体材料の層を成長させ、それによって量子ドット層を形成するステップと、前記自己集合半導体材料とは異なる半導体材料の隣接層を前記量子ドット層上に成長させるステップと、前記バリア層、量子ドット層および隣接層をそれぞれ成長させるステップを繰り返すステップとを包含し、少なくとも 2 つの隣接層の材料組成または堆積パラメータは異なるように選択される、方法。

40

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

## 発明の分野

本発明は、広帯域発光装置の分野である。詳しくは、超発光ダイオード (super luminescent light emitting diodes、SLED)、半導体光増幅器 (SOA)、外部共振器半導体レーザおよび他の広帯域エレクトロルミネセント装置、ならびに超発光ダイオードを製造する方法に関する。

## 【背景技術】

50

## 【0002】

## 発明の背景

超発光ダイオード (SLED) は、順方向にバイアスをかけると光学的に活性となり広い波長領域にわたって増幅自然放出を発生させるダイオードである。

## 【0003】

SLED (superluminescent diode、SLDと呼ぶ場合もある) は、従来のLEDによって放出されるものより高い強度を必要とする一方で放出波長が広いスペクトル範囲にわたって均一に分布するのが望ましい応用分野にとって魅力あるものである。よって第1の端面から大きな非干渉性光出力を送達するためのSLEDでは、レーザ発振を抑圧することが重要である。

10

## 【0004】

従って、レーザダイオードとは異なり、レージング動作を得るための十分なフィードバックはない(ここで「レージング」とは、レーザの機能原理、すなわち、フィードバックによって、反転分布を提供するように励起されまたフィードバックを提供する空洞共振器内に配置されるゲイン媒体内に誘導放出を発生させ、これによりコヒーレント光を得ることを示すために用いられる)。これは通常は、発生した放射を導く傾斜導波路および反射防止塗膜端面の共同の動作によって実現される。この場合の傾斜導波路とは、装置の両端面によって画定される平面に垂直ではない導波路のことである。

## 【0005】

本明細書において参考として援用される米国特許出願第10/763,508号には、レーザ発振を抑制する新規の方法が記載されている。この方法によれば、吸収領域の電極は吸収が向上するようにゼロ電圧に保持される。

20

## 【0006】

通常SLEDにとって望ましい特性の中に、スペクトル幅が広いことおよび温度安定性が高いことがある。この理由のために、量子ドット超発光ダイオードが有望である。このダイオードでは、ゲイン媒体は多数の量子ドットによって形成され、これら量子ドットは通常、Volmer-Weber成長モードまたはStraniski-Krastanov成長モードで量子ドット層をエピタキシャル成長させるなどの自己集合の方法によって製造されている。広いスペクトル幅は、天然に生じる不均一なサイズ分布によってそれぞれ異なる量子ドット間にそれぞれ異なる電子構造体が形成されることによって実現される。高い温度安定性は、隣接する状態間のエネルギー差が $kT$  ( $k$ はボルツマン定数であり、 $T$ は絶対温度である)の通常値を超える、非連続の状態密度のために生じる。

30

## 【0007】

量子ドットの不均一サイズ分布は当然比較的広いスペクトル幅をもたらすが、スペクトル幅をさらに広げることが有利となる。この目的のために、ドットサイズ不均一分布を故意に増大させることが提案されている(Z.-Z. Sunら、Optical and Quantum Electronics 31、1235~1246頁(1999))。しかし、量子ドットサイズ分散を正確に制御するのは平凡なことでも容易に再生可能なことでもない。量子ドット内の堆積InAs材料の量がそれぞれ異なるInAs量子ドットを有する多数の層を用いる異なるアプローチも提案されている(Z. Y. Zhangら、IEEE Photonics Technology Letters 16、27~29頁(2004))。InAsの量は量子ドット(QD)の密度および放射効率にも影響を及ぼすため、このアプローチもまた実現は困難である。

40

## 【0008】

広帯域放出スペクトルが所望される他のエレクトロルミネセント素子としては、(潜在的に広帯域の)入力放射を増幅するために自然放出が用いられる半導体光増幅器、およびレーザ出力を広い範囲で調整可能とするために広い放出スペクトルが所望される外部共振器半導体レーザが挙げられる。

## 【発明の開示】

## 【課題を解決するための手段】

50

## 【 0 0 0 9 】

## 発明の要旨

これらの理由により、従来の装置の欠点を克服し、また特に、上述の従来のアプローチの再現可能性および実用性の問題が生じることなく、自己集合型量子ドット超発光ダイオードのスペクトル幅を超えるスペクトル幅を有する、広い放出スペクトルおよび高い温度安定性を備えたエレクトロルミネセント発光装置を提供することは有益であろう。特に、そのような装置は、再現可能特性を有する市販の応用製品に対して大量に製造可能であるべきである。

## 【 0 0 1 0 】

従って、PN接合を形成する半導体ヘテロ構造を備えたエレクトロルミネセント発光装置が提供される。前記半導体ヘテロ構造は、ゲイン領域であって、その活性ゾーンからの誘導放出を含む光放出を発生させるように前記PN接合にバイアスをかけるコンタクト手段を備えたゲイン領域を含む。前記半導体ヘテロ構造は、前記活性ゾーン内に、それぞれが複数の量子ドットを含む複数の量子ドット層、およびそれぞれが前記量子ドット層の1つに隣接する複数の隣接層を備えており、少なくとも2つの隣接層の材料組成または堆積パラメータが異なる。変動し得る堆積パラメータは層厚さを含む。

10

## 【 0 0 1 1 】

他の態様によれば、本発明は、半導体ヘテロ構造を備えたエレクトロルミネセント素子に関し、前記半導体ヘテロ構造は、基板上に、第1のクラッド層および第2のクラッド層と、前記第1のクラッド層および第2のクラッド層の間に配置される発光アレンジメントとを含み、前記発光アレンジメントは、電流が注入されると電磁放射を光線経路へと放出し、前記発光アレンジメントは、複数の量子ドット層を備えた積層体を含み、各量子ドット層はバリア層とキャップ層とによって挟まれ、少なくとも1つの量子ドット層のキャップ層は異なる材料よりなる。

20

## 【 0 0 1 2 】

さらに他の態様によれば、本発明は、半導体ヘテロ構造を備えた超発光ダイオードに関し、前記半導体ヘテロ構造は、基板上に、第1のクラッド層および第2のクラッド層と、前記第1のクラッド層および第2のクラッド層の間に配置される発光アレンジメントとを含み、前記発光アレンジメントは、電流が注入されると電磁放射を前記ヘテロ構造によって形成される導波路へと放出し、前記発光アレンジメントは、複数の量子ドット層を備えた積層体を含み、各量子ドット層はバリア層とキャップ層とによって挟まれ、前記キャップ層のうちの少なくとも2つは異なる材料よりなるかまたは異なる厚さを有する。

30

## 【 0 0 1 3 】

本発明はまた半導体ヘテロ構造接合と導波路とを備えたエレクトロルミネセント発光ダイオードを製造する方法に関する。本方法は、基板を提供するステップと、前記基板上に半導体ヘテロ構造および導波路構造の層を製造するステップと、前記半導体ヘテロ構造によって作られる前記半導体ヘテロ構造接合にバイアスをかけるための電極コンタクトを提供するステップとを備え、前記半導体ヘテロ構造を製造するステップは、バリア層を製造するステップと、その上に自己集合の半導体材料の層を成長させ、それによって量子ドット層を形成するステップと、前記自己集合半導体材料とは異なる半導体材料の隣接層を前記量子ドット層上に成長させるステップと、前記バリア層、量子ドット層および隣接層を成長させるステップを繰り返すステップとを包含する。少なくとも2つの隣接層の材料組成または堆積パラメータは異なるように選択される。

40

## 【 0 0 1 4 】

放出波長は1つのまたは複数の隣接層の組成に依存するという効果にはいくつかの理由が貢献しているとされる。先ず、量子ドット電子状態を閉じ込めるバリア高さが変化する。次に、隣接層によって量子ドット材料上に誘発される歪みは、隣接層の格子定数に依存し、この格子定数は材料組成に依存する。第3の可能な影響は、量子ドットおよび隣接層の材料組成によって生じ得る。つまり量子ドットを構成する化学元素が隣接層材料にも存在する場合は、量子ドットは、単に量子ドット層堆積材料から成長する場合よりさらに成

50

長し得る。隣接層からの材料は、従って、量子ドットに「接着」し得る。これは、隣接層の活性化スピノーダル分解によるものであり、これはQDの上部の歪み領域上に優先的に堆積し、従って量子ドットの高さを増大させ得る。また、量子ドット自体の化学組成が拡散効果により隣接層の組成によって変化することも除外し得ない。重要なのは、波長は隣接層のパラメータに基づいて影響され得ることであり、この原理によって、量子ドット層の製造時に最適成長条件を守ること、および別のステップ、すなわち隣接層製造ステップで放出スペクトルを調整することが可能となる。

#### 【0015】

本発明は、周囲の材料、すなわち隣接層の材料を変動させることによって単一のまたは複数の光学遷移を処理することができるというこの洞察を用いる。これにより、隣接層材料を変動させることによって、量子ドット放出波長、および最終的にはSLED放出スペクトルを制御することが可能である。それぞれ異なる隣接層材料または隣接する層厚さと共に量子ドット層を積み重ねることによって、広い放出スペクトルを実現することができる。

#### 【0016】

以下に、本発明の実施形態を図面を参照して述べる。すべての図面は概略であって一定の尺度で縮小したものではない。これらの図面において、対応する要素には同じ参照番号が与えられている。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0017】

##### 好適な実施形態の説明

図1に概略的に示す装置は、 $1.3\mu\text{m}$ という技術的に重要な波長近辺の放出に適している。本装置は、GaAs基板1を含む半導体ヘテロ構造を備えている。基板は、Siドープ（Siドープはここではn型ドープである）のInGaPまたはAlGaAs半導体クラッド層2を備えている。Siドープのクラッド層の上面には、PN接合を形成し活性ゾーンを有する積層構造4が配置されている。積層構造4は、後でより詳細に説明するように、複数の量子ドット層を備えている。積層構造4の上には、リッジ構造を有する第2クラッド層5が形成されている。本図の実施形態はさらに、例えば酸化層である薄い絶縁層6、および上部電極層7を備えている。基板1の裏側には第2の電極8（または下部電極）が配備されている。電流を注入すると、電流は上部および下部電極間を流れ、エレクトロルミネセンスにより活性ゾーン内に放射が発生する。この放射は、リッジに沿って導かれ、垂直方向にはそれぞれ異なる屈折率を有する層よりなる構造によって閉じ込められ、また横方向にはリッジによって閉じ込められる（弱い屈折率ガイド型）。当然ながら、実際の活性ゾーンは横方向にも閉じ込められるという事実もまた放射の閉じ込めに貢献する。

#### 【0018】

ヘテロ構造は、バッファ層などの図面には示していない層をさらに備えてもよく、またはクラッド層はいくつかの層などを含んでもよい。活性ゾーンのための材料がそれなりに与えられれば、SLEDまたは（同様に）端面放出型半導体レーザまたはSOAのためのヘテロ構造の設計は当該分野では既知である。活性ゾーン内に本発明によるそれぞれ異なる隣接層を有する複数の量子ドット層を備えた半導体ヘテロ構造は、当該分野では既知のいかなるSLED、SOAまたはレーザ設計に対しても非常に適している。

#### 【0019】

また、横方向の閉じ込めは、一例を図1に示している弱い屈折率ガイド型構造などのいかなる既知の方法によっても実現され得るが、強い屈折率ガイド型構造またはゲインガイド型構造もまた用いられ得る。

#### 【0020】

図2は、ゲイン領域を構築する積層構造をより詳細に示している。積層構造は2つのクラッド層2および5の間に配置され、複数のGaAsバリア層12を備えている。最上部以外のバリア層12の各層上には量子ドット11の層が配置されている。量子ドットの各

層は、本発明においては隣接層とされるキャップ層 13 によって覆われている。キャップ層は  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  層であり、 $x$  は層によって 0.1 から 0.15 の間で変動する。この系では、各量子ドットの直上部の材料は、周囲のキャップ層材料と比較して  $\text{In}$  が多いことが観察されている。これにより量子ドットの上部に  $\text{In}$  リッチカラム 15 が形成される。この現象は  $\text{InAs}$  および  $\text{InGaAs}$  に基づく上述のヘテロ構造で観察され、隣接層組成の放出波長への影響に貢献するものとされる。しかし、本発明はまた、隣接層材料が放出波長に影響力をもつ限りは、この現象を示さない系に対しても有効である。

#### 【0021】

$\text{GaAs}$  バリア層の厚さは例えば 10 nm から 50 nm の間であり、量子ドット層の厚さは 0.5 nm から 1 nm の間でよく、またキャップ層の厚さは例えば 1 nm から 10 nm の間でよい。当該分野では一般的であるように、アイランド層などの不規則に成長する層の厚さは、同じ量の材料よりなるが均一に配分された仮想上の層の厚さに対応する値で測定される。

#### 【0022】

上記に指摘したように、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  キャップ層中の  $\text{In}$  組成、すなわち  $x$  値は放出波長を変化させる。現時点での理解によれば、これは主に歪み構成および量子ドット高さの変化による。物理的および化学的プロセスの性質についての現時点での理解によれば、 $\text{InAs}$  量子ドットの量子ドット高さは、 $\text{InGaAs}$  キャップ層の活性化スピノーダル分解によりキャップ層が堆積すると増大する。

#### 【0023】

本発明の実施形態の概念図を図 3 に示す。同図では物理的な量  $Q$  が  $z$  座標 (図 2 参照) の関数として示されている。図示するように、量  $Q$  はキャップ層 13 間で変動する。量  $Q$  は放出波長に影響を及ぼす。好ましくは、量のこの変動は、スペクトルにおいて互いに隣り合う放出寄与分となる量子ドット層間の放出波長の差を単一の寄与分のスペクトル幅より小さくして、これによりすべての量子ドット層の寄与分を重ね合わせることによって、連続した広いスペクトルが形成されるように選択される。但し、放出スペクトルで互いに隣り合う寄与分を形成する量子ドット層は、図 3 から分かるように、物理的に隣り合っている必要はない。図 3 では、第 1 および第 4 のキャップ層の量  $Q$  が互いに隣接している。

#### 【0024】

物理的な量  $Q$  の例としては、図 3 におけるように最も低い伝導帯状態のエネルギーであるか、もしくは格子定数 (またはそれぞれ量子ドット材料への格子不整合)、化学的变化を誘発する傾向などであってよい。多くの場合、材料パラメータ、提示した例では  $x$ 、が変動するときは 1 つより多い物理的な量が変化する。

#### 【0025】

図 6 a は、 $\text{In}$  組成がそれぞれ異なる 5 nm の  $\text{InGaAs}$  キャップ層を有する単層 QD 層の室温 (RT) 光ルミネセンス (PL) スペクトルを示す。 $\text{In}$  組成が増大すると共にスペクトルが移動するのが見て取れる。図 6 c は、 $\text{In}$  組成が 10% から 15% まで変動する 5 nm 厚の  $\text{InGaAs}$  キャップ層を有する 5 層積層の QD 層の RT PL スペクトルを示している。それぞれ異なる QD 層からの放出の合計によって線幅が 60 nm へと著しく広がっている。

#### 【0026】

$\text{InAs}$ 、 $\text{InGaAs}$  および  $\text{GaAs}$  に基づく上述の材料系の代わりに、他の材料組成、例えば、1.4 ~ 1.6  $\mu\text{m}$  の波長領域での放出のために  $\text{InP}$  基板上に  $\text{InAs}$  量子ドットおよび  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{As}_z\text{P}_{1-z}$  ( $0 < x, y, z < 1$ ) キャップ層を、0.6 ~ 0.8  $\mu\text{m}$  の波長領域での放出のために  $\text{GaAs}$  基板上に  $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}$  量子ドットおよび  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  キャップ層を、0.4 ~ 0.6  $\mu\text{m}$  の波長領域での放出のために  $\text{GaN}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  または  $\text{SiC}$  基板上に  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  量子ドットおよび  $\text{In}_y\text{Al}_z\text{Ga}_{1-y-z}\text{N}$  キャップ層を、1000 ~ 1500 nm の波長領域での放出のために  $\text{Si}$  基板上に  $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$  量子ドットおよび  $\text{Si}_y\text{Ge}$

10

20

30

40

50

$x-y$  (  $x-y$  ) キャップ層を選択してもよい。

【0027】

以下の実施形態において、p型ドーブ層およびn型ドーブ層は入れ替え可能である。

図4は、本発明の装置の1つの実施形態の上面図をかなり概略化して示している。この装置はSLEDである。上述の横方向の閉じ込めを確実にする手段によって、導波路ストライプ21が形成される。図示した実施形態では、導波路は直線で、反射光が帰還を形成しないように、前端面および後端面に対して角度をなしている。これはSLEDにおいては望ましい。図示した形状の代わりに、導波路は少なくとも一部が曲がったり、前および/または後端面などに対して垂直となるようにしてもよい。図示した実施形態では、導波路はゲイン領域22と吸収領域23とを備えている。吸収領域では、米国特許出願第10 / 763, 508号に記載されているように、PN接合は逆バイアスまたはバイアスなしであってもそうでなくてもよい。吸収領域はオプションである。図4の分割配置ではなく、ゲイン領域が導波路ストライプの全長にわたって広がっていてもよい。

10

【0028】

加えて、反射防止コーティング（図示せず）をオプションとして端面の一方または両端面に配備してもよい。

【0029】

図5a～図5eは、本発明の装置を製造する方法のステップを示す。

図5aは、基板（同図では示さず）上に配備されたバッファ層であるクラッド層2を示す。クラッド層には、分子線エピタキシ（MBE）、金属有機気相エピタキシ（MOVPE）または化学蒸着（CVD）などの従来の堆積法によって第1のバリア層12.1が配備される。この実施形態ではバリア層はGaAs層である。

20

【0030】

図5bに示す次のステップでは量子ドット層が加えられる。このためには、量子ドット材料を分子線エピタキシまたは金属有機気相エピタキシによってバリア層上に堆積させる。量子ドット層材料は、バリア層上に自己集合してアイランドの成長が生じるように選択される。InAsはGaAs上にStraniski-Krastanov成長モードで成長する。すなわち、最初は材料の単分子層を覆った後、アイランドとして集合する。アイランド11.1は後に量子ドットとして働く。基板温度、成長速度、堆積されるサブ層の順序または堆積材料の量（層厚さ）などの堆積パラメータは、広い放出スペクトルを確実に得るための手段を考慮する必要なく製造効率、電子パラメータ、放射効率および再現性を最適化するように選択され得る。

30

【0031】

次に、図5cに示すように、隣接層であるキャップ層13.1をMBEまたはMOVPEによって加える。このプロセスではInリッチカラム15が自動的に形成される。

【0032】

次に、第2のバリア12.2を加え（図5d）、この上に再び量子ドット層11.2を、好ましくは第1の量子ドット層11.1で用いたのと同じ成長パラメータで堆積させる（図5e）。次に、再びキャップ層を堆積させる（図5f）が、この第2のキャップ層13.2の材料は第1のキャップ層13.1の材料とは異なる。バリア層、量子ドット層およびキャップ層の堆積ステップを所望の回数繰り返す。図2では明瞭化のために4層のみ示しているが、好ましくは、5～15の量子ドット層が堆積される。すべてのキャップ層のキャップ層材料が異なってもよく、またはいくつかのキャップ層よりなる群は同じ材料であってもよい。

40

【0033】

キャップ層の材料を変動させる代わりに、隣接層の他のパラメータを変動させてもよい。例えば、上に量子ドット層が堆積する隣接層の材料を変動させてもよい。もしくは、量子ドット層に、それらの下の層およびそれらを覆う層よりなる埋め込み層を配備してもよい。もしくは、上述の図に示すキャップ層を用いるが、材料組成を変動させる代わりに、他の成長パラメータ、例えば堆積速度または温度を系統的に変動させる。また、キャップ

50



層をデジタル合金（非常に薄い InAs 層と GaAs 層とが交互に重なり合った配列）として実現して、これら層の相対的な厚さを変動させて平均 In 組成を変化させてもよい。堆積パラメータのさらに可能な変動としては、同一であるはずのキャップ層の厚さを変動させることがある。図 6 b は、InGaAs 組成は一定であるが厚さが 0 から 5 nm まで変動する単層 QD 層の RT PL スペクトルを示す。厚さが異なる多層体を形成することによって、図 6 c に示したものに類似する広い放出スペクトルが得られ得る。

#### 【0034】

上記の記述は、キャップ層の材料または他のパラメータを変動させることによって放出スペクトルが如何に広域にされ得るかを説明するものである。最も低い量子状態を飽和させてこれによってより高いエネルギー状態を植えつけるのに十分に高い電流を注入することによって、量子ドットの様々に異なる量子状態からの放出が励起されれば、スペクトルはさらに広くなり得る。

10

#### 【0035】

図 7 に広帯域半導体光増幅器 31 の一例を示す。増幅器は上述の種類のヘテロ構造、例えば図 1 および図 2 を参照して述べた構造を備える。入力光 32 は、PN 接合にバイアスをかけるとヘテロ構造の活性ゾーンの誘導放出によって増幅される。増幅された光線 33 は装置を一度通過した後放出される。図 7 には導波路構造 34 もまた示されている。

#### 【0036】

図 8 は、外部共振器端面放出型半導体レーザ 41 をかなり概略化して示しており、ゲイン材料 42 は上記に定義し説明した原理に従って設計されている。ゲイン材料 42 は、図 1 および図 2 を参照して述べたようにヘテロ構造を備え得る。レーザ 41 はゲイン材料に加えて、内部にゲイン材料が配置されるレーザ空胴共振器を画定する複数のミラー素子 43 および 44 を備えている。同図では、空胴共振器ミラーは 2 つのみでこれらの一方は一部が透明のアウトカップリングミラー 44 である最も単純な空胴共振器設計を示している。空胴共振器ミラーの一方、および潜在的にはレーザ空胴共振器の他のパラメータは、他方の空胴共振器素子に対して配置するとよく、これにより共振器を安定させる放射波長および最終的にはレーザ波長が調整可能となる。ミラーを配置するのに加えてまたはこれに代えて、それ自体でおよびレーザ波長を調整する手段として当該分野で既知である他の調整可能波長選択素子を備えてもよい。また、レーザはさらに、収束手段などの素子を備えてもよい。さらに、本発明はまた表面放出型外部共振器半導体レーザにも適用可能である。

20

30

#### 【0037】

様々な他の実施形態が本発明の範囲および精神から逸脱することなく想到され得る。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0038】

【図 1】本発明の装置の概略断面図である。

【図 2】図 1 の装置の積層構造の断面の拡大図である。

【図 3】本発明の実施形態の概念を概略図で示す。

【図 4】本発明の SLED の実施形態の上面図をかなり概略化して示す。

【図 5】図 5 a ~ 図 5 f は、本発明の装置を製造する方法の工程ステップを示す。

40

【図 6 a】In 組成がそれぞれ異なる 5 nm 厚の InGaAs キャップ層を備えた単層 QD 層の室温 (RT) 光ルミネセンス (PL) スペクトルを示す。

【図 6 b】InGaAs 組成は一定であるが厚さが 0 から 5 nm まで変動する単層 QD 層の RT PL スペクトルを示す。

【図 6 c】In 組成が 10 % から 15 % まで変動する InGaAs キャップ層が隣接する積層 QD 層から得られる放出スペクトルを示す。

【図 7】本発明の半導体光増幅器の上面図をかなり概略化して示す。

【図 8】本発明の調整可能な出力波長を持つ外部共振器半導体レーザの上面図をかなり概略化して示す。

【図 1】

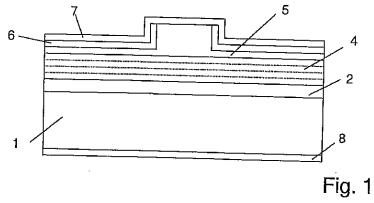


Fig. 1

【図 2】

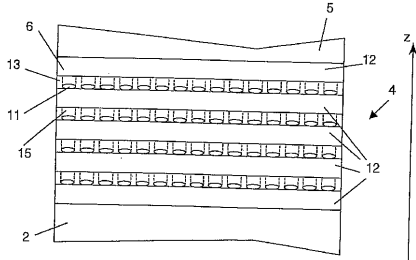


Fig. 2

【図 3】

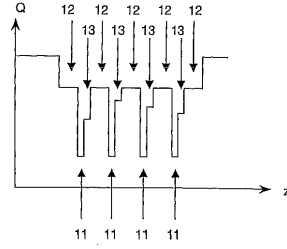


Fig. 3

【図 4】

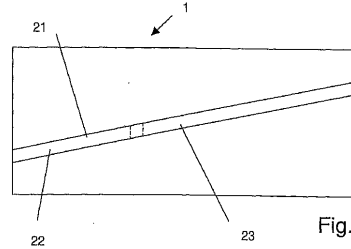


Fig. 4

【図 5 a】

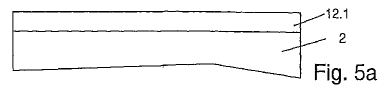


Fig. 5a

【図 5 b】

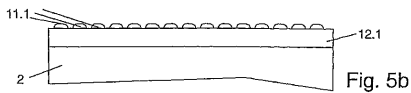


Fig. 5b

【図 5 c】

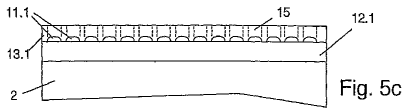


Fig. 5c

【図 5 d】

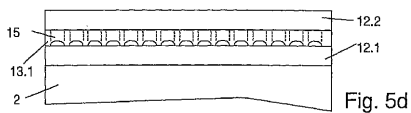


Fig. 5d

【図 5 e】

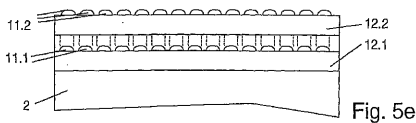


Fig. 5e

【図 5 f】

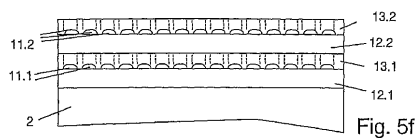


Fig. 5f

【図 6 a】

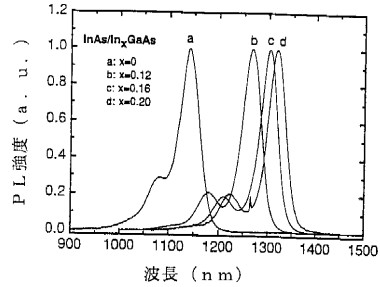


Fig. 6a

【図 6 b】

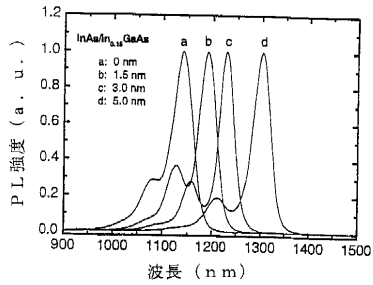


Fig. 6b

【図 6 c】

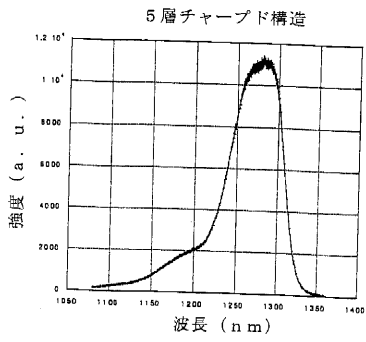


Fig. 6c

【図 7】

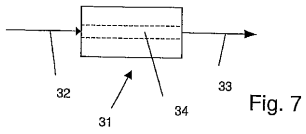


Fig. 7

【図 8】

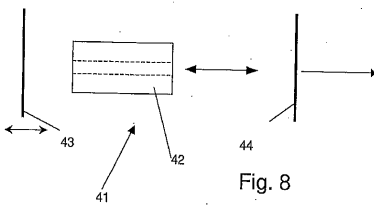


Fig. 8

## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/CH2005/000323

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. H01L33/00 H01S5/34

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L H01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2004/099858 A1 (LEE DONG-HAN) 27 May 2004 (2004-05-27) figures 8-12 page 3, paragraph 48 - page 5, paragraph 77	1-20
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 03, 30 March 2000 (2000-03-30) -& JP 11 354839 A (MITSUBISHI CABLE IND LTD; RIKAGAKU KENKYUSHO; TANAKA SATORU), 24 December 1999 (1999-12-24) abstract; figures 1,2B ----- -/--	1, 5, 11, 17-20

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

7 April 2006

Date of mailing of the international search report

24/04/2006

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Sauerer, C

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/CH2005/000323

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 507 042 B1 (MUKAI KOHKI ET AL) 14 January 2003 (2003-01-14)  figures 4-6,11 column 6, line 49 - column 8, line 18 column 10, line 41 - column 12, line 23	1,5-9, 11-14, 17-20
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no. 13, 30 November 1998 (1998-11-30) -& JP 10 215032 A (NEC CORP), 11 August 1998 (1998-08-11) abstract; figures 2,4	1,5-9, 11-14, 17-20
A	US 5 981 978 A (MUSHIAGE ET AL) 9 November 1999 (1999-11-09) figures 12-17 column 1, line 14 - column 4, line 39	1-20
A	US 2004/009681 A1 (FAFARD SIMON) 15 January 2004 (2004-01-15) figures 1,2 page 3, paragraph 28 - page 6, paragraph 46	1-20
A	TATEBAYASHI JUN ET AL: "Over 1.5 &mgr;m light emission from InAs quantum dots embedded in InGaAs strain-reducing layer grown by metalorganic chemical vapor deposition" APPLIED PHYSICS LETTERS, AIP, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, MELVILLE, NY, US, vol. 78, no. 22, 28 May 2001 (2001-05-28), pages 3469-3471, XP012028162 ISSN: 0003-6951 the whole document	1-20
A	ZHANG Z Y; WANG Z G; XU B; JIN P; SUN Z Z; LIU F Q: "High-performance quantum-dot superluminescent diodes" IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, vol. 16, no. 1, January 2004 (2004-01), pages 27-29, XP002376056 USA cited in the application the whole document	1-20

-/--

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/CH2005/000323

(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>LIU H Y ET AL: "Optimizing the growth of 1.3 <math>\mu\text{m}</math> InAs/InGaAs dots-in-a-well structure" JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, NEW YORK, US, vol. 93, no. 5, 1 March 2003 (2003-03-01), pages 2931-2936, XP012059175 ISSN: 0021-8979 the whole document</p>	1-20
A	<p>NISHI KENICHI ET AL: "A narrow photoluminescence linewidth of 21 meV at 1.35 <math>\mu\text{m}</math> from strain-reduced InAs quantum dots covered by In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As grown on GaAs substrates" APPLIED PHYSICS LETTERS, AIP, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, MELVILLE, NY, US, vol. 74, no. 8, 22 February 1999 (1999-02-22), pages 1111-1113, XP012023299 ISSN: 0003-6951 the whole document</p>	1-20
A	<p>PASSASEO A ET AL: "Long wavelength emission in In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As quantum dot structures grown in a GaAs barrier by metalorganic chemical vapor deposition" APPLIED PHYSICS LETTERS, AIP, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, MELVILLE, NY, US, vol. 84, no. 11, 15 March 2004 (2004-03-15), pages 1868-1870, XP012060771 ISSN: 0003-6951 the whole document</p>	1-20
A	<p>WO 03/105297 A (AGILENT TECHNOLOGIES, INC; SCHWARZ, JOCHEN; RUF, TOBIAS; MUELLER, EMME) 18 December 2003 (2003-12-18) page 7, line 12 - page 8, line 21</p>	1-20

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/CH2005/000323

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2004099858 A1	27-05-2004	WO 02079813 A2	10-10-2002
JP 11354839 A	24-12-1999	JP 3660801 B2	15-06-2005
US 6507042 B1	14-01-2003	NONE	
JP 10215032 A	11-08-1998	JP 2947199 B2	13-09-1999
US 5981978 A	09-11-1999	NONE	
US 2004009681 A1	15-01-2004	CA 2331929 A1	13-03-2002
		US 6768754 B1	27-07-2004
WO 03105297 A	18-12-2003	AU 2002368001 A1	22-12-2003
		EP 1520328 A1	06-04-2005
		US 2005169332 A1	04-08-2005

## フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(74)代理人 100109162

弁理士 酒井 将行

(72)発明者 リー, リアネ

スイス、1 0 2 2 シャパンヌ、シュマン・ドゥ・シャン・フレウリ、2

(72)発明者 フィオール, アンドレア

スイス、セー・アッシュ - 1 0 0 7 ローザンヌ、アベニュー・デュ・モン・ドール、7 1

(72)発明者 オッチ, ロレンゾ

スイス、ツェー・ハー - 8 3 3 0 フェフィコン、オーベルマッットシュトラッセ、3 6

(72)発明者 ベレス, クリスチャン

スイス、ツェー・ハー - 8 8 0 5 リヒタースビル、ライトホルツシュトラッセ、2 6・アー

Fターム(参考) 5F041 CA04 CA05 CA10 CA34 CA35 CA39 CA65 CA66